

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 25320091151489

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

基于遗传算法的 Benchmark 模型
风振控制研究

The Research of Wind-induced Vibration Control of
Benchmark Model Structure Based on Genetic Algorithm

林 倩

指导教师姓名: 张建霖 教授

专 业 名 称: 结 构 工 程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

在城市化的进程中,为了解决人多地少的问题,高层建筑如雨后春笋般的大量涌现。如今随着科技的进步和经济的发展,全球掀起了一波波的兴建摩天大楼的风潮,世界各国为争夺“第一高楼”,可谓是“暗战不休”,世界第一高楼的高度记录在不断被刷新。随着建筑高度的攀升,结构相对较柔,相应的风荷载增大,使得对高层建筑的风振控制变得非常必要。结构振动控制为结构抗风设计开辟了新途径,它改变了传统的单纯靠建筑结构自身性能抵御风荷载的设计思想,通过在结构中附设减振装置来减小建筑结构的动力反应。为了能对各种减振方法有一个公认的评价标准,人们建立了一种统一的模型(或平台)和控制性能指标,来检验和评价不同控制系统,在不同因素影响下的适用性和控制有效性,这就是结构振动控制的 Benchmark 问题。

本文首先就高层建筑风振控制的研究现状进行了概述,在以往研究的基础上,以第二代 Benchmark 模型作为研究对象,对被动控制器的优化设计问题进行研究探讨。主要完成以下工作:

1. 建立了 76 层 Benchmark 模型的 TMD 控制系统的动力学方程。采用权重和方法,分别为位移减振系数、加速度减振系数分配权重,将两者组合,同时通过罚函数,考虑顶层最大加速度这一约束条件,从而建立了优化设计的目标函数。应用遗传算法,对 TMD 的参数进行优化设计。并探讨了 TMD 的频率比、阻尼比对加速度、位移减振效果的影响。

2. 分析了 TMD 对系统各种能量的控制效果,结果表明 TMD 的设置对于耗散风振输入结构的能量,衰减结构在风振作用下的振动,以及提高结构的可靠性、舒适性是十分有效的;通过时程分析,对比了不同参数的 TMD 对结构的加速度、位移及层间位移角的减振效果,并研究了控制效果沿高度的变化趋势,从中得到了一些有意义的结论。

3. 建立了 76 层 Benchmark 模型的阻尼器控制系统的动力学方程。基于结构在频域内的加速度、位移响应,提出了阻尼器的指标函数。然后,根据这一指标,通过遗传算法对被动控制器的安装位置和参数进行了优化。

4. 对阻尼器控制系统进行了能量分析和时程分析,结果表明,在阻尼器控制下,系统的各能量均有削弱,阻尼器的耗散能占风振总输入能的比重较大,结

构响应的峰值减小，这说明本节建议的方法能有效地控制了结构的风振响应。同时该方法能大大减少阻尼器的安装数量，具有一定的经济性、合理性。

关键词：Benchmark 模型；遗传算法；被动控制器优化设计；

厦门大学博士论文摘要库

ABSTRACT

In the course of the urbanization, in order to solve the shortage of land resource, there are more and more high-rise buildings. With the development of human society and the progress of technology, in recent years, the global witnesses the rise of constructing skyscrapers, the competition of the highest building in the world is very keen, the record is refreshed continuously. With the increasing of the height of buildings, the structure is subjected to increasing wind loading with comparatively flexible bending stiffness. It is essential and necessary to take the wind-vibration control. Structural vibration control is a new method for mitigating structural response under wind load. This new concept means that the dynamic response of the structure is reduced by its auxiliary devices instead of by the structure itself. Most of present researches basically are based on their own dynamic model for numerical example, so that a unified communication platform is needed for these method.

Firstly, research situation of the control of the vibration response of the tall buildings are briefly described in the paper. Based on previous studies, Benchmark model, as a study object, is established to study the optimal design for the passive control devices. The main content of this paper is as follows:

1. Structural dynamics model of TMD is established based on 76-storey Benchmark model. With the mean of weight-sum-approach, displacement reduction index and acceleration reduction index is given weight respectively, then they are integrated to be the optimization objective, and the constraint of the maximum acceleration is taken into account by penalty function. The parameters of the TMD controller are optimally designed based on Genetic Algorithm. The effect of the frequency and damping ratio of TMD on the vibration reduction is studied.

2. The control effect of energy is studied. The result shows that TMD can dissipate energy, mitigate structural response under wind load, and increase the reliability and comfort of the structure. The control effect of TMD with different parameters is analysed by the time-history analysis. Variable trend of the control effect is studied.

3. Structural dynamics model of dampers is established based on 76-storey Benchmark model. The response of displacement and acceleration are both taken into account, vibration reduction index is taken as the optimization objective, kinds of damping controller are optimally designed based on Genetic Algorithm.

4. The results of energy analysis and time-history analysis show that the system energy is decreased and dampers cause the major energy to dissipate. The response is controlled effectively. The way suggested in the chapter can reduce the number of damper significantly.

Key Words: Benchmark Model; Genetic Algorithm; Optimal Design of Passive Control Devices

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 风的概述	2
1.3 结构振动控制的概述	3
1.4 高层建筑的风振控制的发展概述	5
1.5 本文研究内容	8
第二章 风荷载的基本特性	10
2.1 风的基本概念	10
2.2 平均风与脉动风	10
2.3 风荷载的基本特性	10
第三章 风激励高层建筑振动控制的基准问题及遗传算法	14
3.1 Benchmark 模型概述	14
3.2 风激励高层建筑振动控制的基准问题	15
3.3 结构风振分析的方法	19
3.4 遗传算法	23
第四章 结构抗风设计要求	29
4.1 抗风设计的强度要求	29
4.2 抗风设计的刚度要求	30
4.3 抗风设计的舒适度要求	31
4.4 抗风设计的其他要求	32
第五章 Benchmark 模型控制体系 TMD 优化设计	33
5.1 Benchmark 模型结构 TMD 控制体系动力学模型	33
5.2 目标函数	36
5.3 TMD 参数优化	37
5.4 本章结论	55
第六章 Benchmark 模型控制体系阻尼器优化设计	57
6.1 Benchmark 模型结构阻尼器控制体系动力学模型	57
6.2 阻尼参数及位置优化设计过程	58
6.3 算例	59
6.4 本章结论	71
第七章 论文总结与展望	73
7.1 论文总结	73
7.2 展望	74
参考文献	76

致 谢.....	81
攻读硕士学位期间发表论文目录.....	82

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Introduction	1
1.2 Overview of wind load	2
1.3 Summary of vibration control	3
1.4 Summary of wind vibration control.....	5
1.5 Main work of this paper	8
Chapter 2 Basic characteristics of wind load.....	10
2.1 Basic Concepts of wind load.....	10
2.2 Static wind and pulse wind.....	10
2.3 Basic Characteristics of wind load	10
Chapter 3 Benchmark problem for vibration control of wind-excited tall buildings	14
3.1 Introduction of Benchmark model	14
3.2 Benchmark problem for vibration control of wind-excited tall buildings	15
3.3 Analysis of response of structures to r wind-induced vibration	19
3.4 Genetic Algorithm.....	23
Chapter 4 The wind-resistant design of structures.....	29
4.1 Strength demands	29
4.2 Stiffness demands	30
4.3 Comfort demands.....	31
4.4 Oher demands	32
Chapter 5 Optimal design of Tuned Mass Dampers(TMD) installed in Benchmark model	33
5.1 Kinetic equations of Benchmark model.....	33
5.2 Objective functions	36
5.3 Parematric optimazition of TMD	37
5.4 Conclusions.....	55
Chapter 6 Optimal design of damping devices installed in Benchmark model	57
6.1 Kinetic equations of Benchmark model.....	57
6.2 Optimal design of damping devices.....	58
6.3 Numerical example	59

6.4	Conclusions.....	71
Chapter 7 Conclusions and issues for further study		73
7.1	Conclusions of this paper	73
7.2	Important issues for further study.....	74
References		76
Acknowledgements		81
List of published or accepted papers		82

第一章 绪论

1.1 引言

风是空气相对于地面的运动。由于太阳对地球上大气的加热和温度上升的不均匀性,从而在地球相同高度的两点之间产生压力差,这样,使不同压力差的地区产生了趋于平衡的空气流动,便形成了风。

风灾是自然界中的主要灾害之一,根据国外资料统计,风灾损失占总自然灾害损失的一半左右^[1]。2005 年的世纪飓风“卡特里娜”重创美国,在墨西哥湾沿岸形成的 10 米高的风暴潮,导致上千人死亡,著名工业城市新奥尔良几乎浸泡在海水中,城市瘫痪,百万人流离失所,经济损失超过 250 亿美元。飓风摧毁了上千幢居民住宅、办公建筑、街道、高速公路及其它基础设施,沿海遭飓风袭击最严重地区 90% 的建筑甚至已完全消失,重建需要花费数年时间。我国的风致灾害也呈多发态势,影响中国沿海的台风年均约有 20 个,每年因台风造成的直接经济损失达百亿元。

同时,随着建筑功能多样化的要求,以及科技的不断发展,高层建筑的层数不断增多,高度不断攀升。如今,全球摩天大楼的比赛目前已达到白热化。各国都在争相建标志性的高楼。世界第一高楼的高度记录正在被不断刷新,超过 300 米显然已经不再是人们的目标,现在新的建筑,似乎可以换个新的名字——冲天大楼。高层结构一般为城市的重要建筑,其高宽比较大,整体抗侧刚度相对较小,结构柔性大,结构第一自振周期较长,在风荷载激励下,容易产生较大的侧向振动和变形,属风敏感结构。实际的风环境中,结构在顺风向和横风向的耦合风荷载激励下,风荷载作用效应更为明显,这轻则影响人们正常生产生活的舒适性要求,重则造成结构的严重损伤或破坏。

传统的抗风设计方式:要求提高结构的抗力,如加强结构构件截面强度,增大结构截面面积,有较强的抗变形能力等,但是这些技术措施都有其局限性,在一定程度上限制了建筑功能的发展,增加了结构的造价,使实际工程难以接受。这使得其越来越难以满足设计的要求。结构振动控制通过在结构上设置控制机构,调整或改变结构动力特性的途径,减小结构的振动反应,有效地保护结构在强风中的安全和正常风荷载作用下的舒适度。可以说,结构控制是人的主观能动性与自然的高度结合,是结构对策的新的里程碑^[2]。

1.2 风的概述

1.2.1 风对建筑结构的作用

风是空气从气压高的地方向气压低的地方流动而形成的。按风对建筑物作用力的方向不同可分为^[3]:

1.在建筑物的迎风面上产生的压力(气流流动产生的阻力),包括静压力和动压力;

2.在横风向上产生横风向干扰力(气流流动产生的漩涡扰力与湍流脉动压力);它的产生与结构的截面形状和雷诺数(Reynolds number)有关^[10]。工程科学家发现:不同的雷诺数范围,出现不同形式的流体的旋涡脱落和结构的风致振动。在 $Re < 3 \times 10^5$ 为亚临界范围,为周期性旋涡脱落振动;在 $3 \times 10^5 \leq Re < 3.5 \times 10^6$ 为超临界范围,为不规则的随机振动;在 $Re \geq 3.5 \times 10^6$ 为跨临界范围时,出现规则的周期振动。当旋涡脱落的频率等于结构的自振频率时,引起涡激共振。

3.空气流经建筑物后在建筑物的背后产生的涡流干扰力(包括背风向的吸力)。

1.2.2 风荷载作用下的破坏形式

高层建筑结构在风荷载作用下产生的破坏形式主要有^[4]:

(1)风对结构的作用会使高层建筑产生抖振、颤振、驰振和涡激振动而导致主体结构开裂或损坏;

(2)由于风力作用产生的层间位移过大而引起非承重隔墙开裂或留下较大的残余变形;

(3)局部风压过大造成建筑结构的玻璃幕墙、装饰物和围护结构破坏;

(4)由于脉动风的作用使结构产生大幅度摆动而使居住者感到不适;

(5)长期的风致振动引起建筑结构产生疲劳破坏。

1.2.3 风荷载与地震荷载的区别

高层建筑所遭受的横向荷载中,地震荷载的实质是由于地面的随机位移而导致的结构上部的惯性力。与地震荷载不同,高层建筑所受风荷载是结构上真实承受的荷载^[5],风荷载由静力荷载和脉动荷载组合而成,其中,静力荷载随高层建筑的高度变化而变化,引起结构的静力响应,与结构振动无关。而脉动荷载是引起结构风致振动的因素,与地震荷载相比,它的频率较低,数值较小,一般不致

引起结构大的振动变形,即不会引起高层建筑的塑性反应,可在线性范围内进行风致响应计算。但随着建筑物高度的不断增加,建筑结构风致响应的舒适度逐渐引起了人们的注意,即建筑结构虽然不致导致塑性变形,但结构的加速度反应超出了人们可以承受的范围,不能满足相关规范的要求。

如上所述,进行结构的风致响应计算,控制结构的动力响应的研究是非常必要的,对于重要且高度较高的建筑,通过加强承重结构的刚度来满足舒适度要求显然并不是非常经济,通过设置相应的阻尼器或者 TMD 等耗能吸能装置来控制结构风致响应的方法得到了越来越多的实际运用。

1.3 结构振动控制的概述

1.3.1 结构振动控制的发展历程

结构振动控制是研究控制结构反应(位移、速度或加速度)的设计理论和应用技术。在土木工程中,结构振动控制的概念是在1972年由美国学者J. T. P. Yao 教授首先提出来,是70年代发展起来的一种新的结构设计思想,它是应用古典或现代控制理论,通过在结构上设置一些控制装置,从而改善结构的力学性能。当结构受到风荷载、地震作用等激励时,这些控制装置就会对结构产生一组被动或主动的控制力,使结构的反应得以显著的降低。结构控制是一种不同于传统结构设计方法的全新的积极主动的方法,它改革了利用承重结构本身来抵御横向荷载的思想,通过应用结构控制的理论,可以显著地提高结构的承载能力,降低结构的重量,保证结构满足安全性、使用性及人的舒适性要求,是结构设计思想的一次飞跃。最近20年来,结构控制已在世界范围内成为结构工程研究的热点,在理论、试验及实际应用方面都取得了令人瞩目的成果。

1.3.2 结构振动控制的分类

从广义上说,振动控制包括两方面的内容:一是振动的利用,充分利用有利的振动,如各类振动机器等;另一是振动的抑制,尽量减小有害的振动,因为振动加速运转机械的磨损,缩短产品与结构的寿命,使人易于疲劳,使仪器易于失灵^[3]。土木工程领域的振动控制通常属于后者,即采用某种措施使结构在动力荷载作用下的响应不超过某一限量,以满足工程的要求。土木工程领域的振动控制研究和应用已有 30 余年的历史^[6]。结构控制根据是否需要外界能量,一般分为被动控制、主动控制、半主动控制、混合控制和智能控制,如图 1.1 所示。

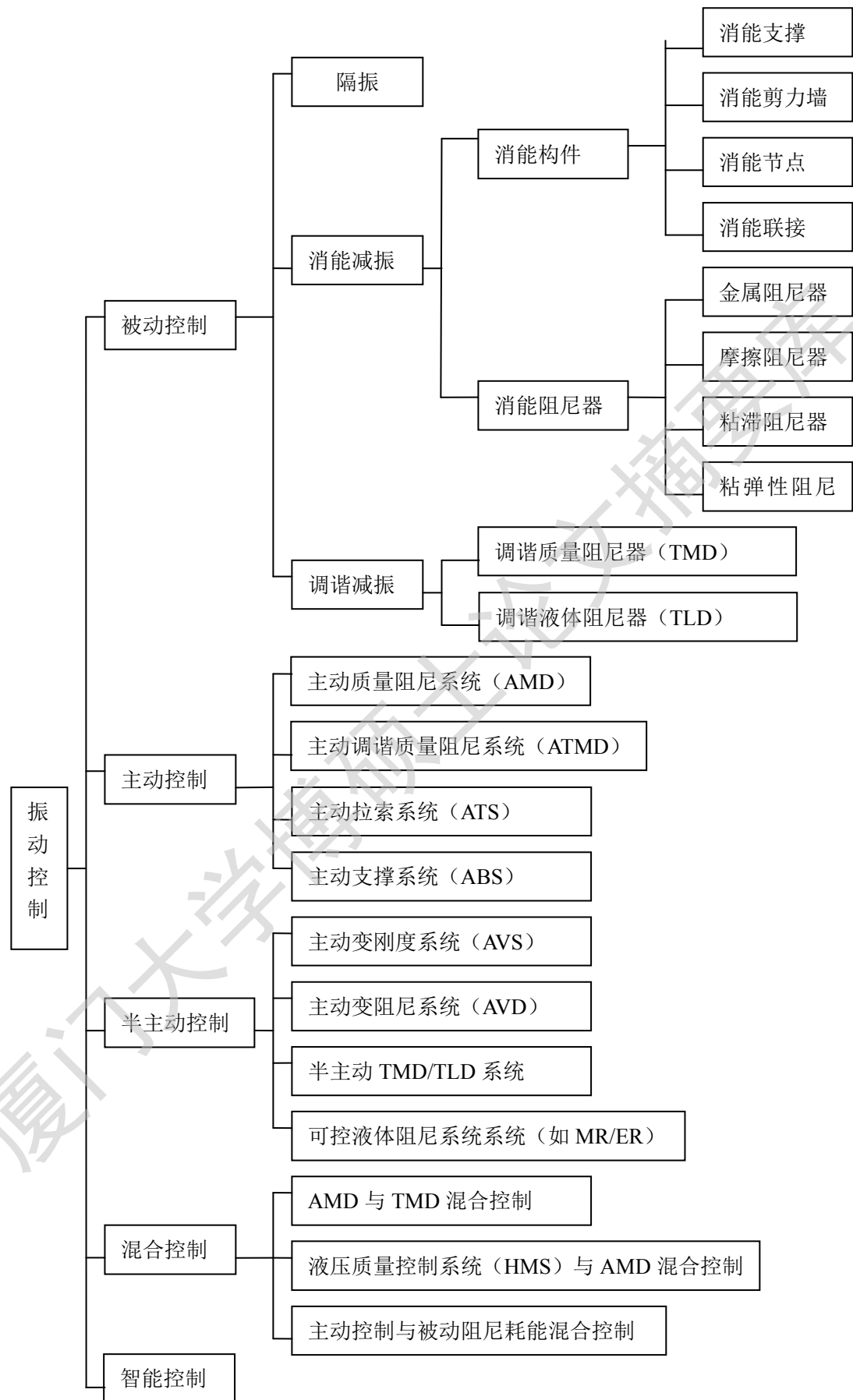


图1.1 结构控制分类

1.4 高层建筑的风振控制的发展概述

1.4.1 被动控制的发展与实际应用

结构被动控制一般是指在结构的某个部位附加一个子系统, 或对结构自身的某些构件做构造上的处理以改变结构体系的动力特性。从控制机理上讲, 被动控制有三条基本途径: 一通过在结构的特定部位设置隔振装置来阻断建筑结构的能量输入, 直接达到减振控制的目的, 通常称之为隔振; 二是通过附加在结构上的一些耗能阻尼器, 如全金属屈服阻尼器、粘弹性阻尼器、流体阻尼器来耗散能量达到减振的目的, 通常称之为消能减振。此时, 建筑结构在进入塑性变形前阻尼器材料先发生屈服, 以耗散大部分能量。另一条途径是通过振动模态间的相互传递(如可调质量阻尼器等), 通常称之为质量调谐减振。然后, 通过振动模态间的相互转换, 将建筑结构的主振动转移到附加系统中去。

被动控制因其构造简单, 造价低, 易于维护且无需外界能源支持等优点而引起了广泛的关注, 并成为当前应用开发的热点, 许多被动控制技术已日趋成熟, 并已在实际工程中应用。

Davorin Hrorat 等人研究了半主动和被动的调频质量阻尼器(TMD)对建筑结构的控制之后, 开始有不少人将此应用于具体的高层建筑和高耸结构的风振控制中^[7]。美国的 William Le Messurier 用半主动的 TMD 来控制两幢高层建筑的风振反应。一幢是美国波士顿的 60 层 John Hancock 大楼, 它的 TMD 包括有两个重 300 吨的质量块, 减缓了大楼的风振摆动, 防止了玻璃幕墙的掉落。另一幢是美国纽约的 Citicorp 大楼, 它顶部的 TMD 重达 400 吨, 减小了结构的风振反应, 防止了大风时居民出现的不舒适感。而在澳大利亚的悉尼, 有人在悉尼电视塔上安装了两个 TMD 系统, 来减小电视塔的第一振型和第二振型风振反应。特别应该指出的是, 它用于控制第一振型的 TMD 是悬吊在塔楼顶部的重达 180 吨的水箱。这是第一个用水箱来代替质量块的尝试, 是很有实用推广价值的。后来, 加拿大的多伦多电视塔也安装了两个小型的 TMD 用以减小第一振型和第四振型的风振反应, 以使天线杆受的荷载为最小。日本 1989 年也在福冈钢结构电视塔上安装了两个 TMD 来减振, 减小了塔 40% 的风振反应。1990 年建成的大阪 Crystal Tower 将塔楼上的若干水池制成悬吊调谐减振系统(PTMD), 实测强台风速 39m/s 时消减加速度响应约 50%。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库